

# Mise en situation et problématique

Mise en service des instruments  
scientifiques (SEIS, APSS, ...)

## Risques

Coupure/Insuffisance d'énergie  
électrique

## Contrôles

Surveillance des instruments  
Surveillance état des batteries

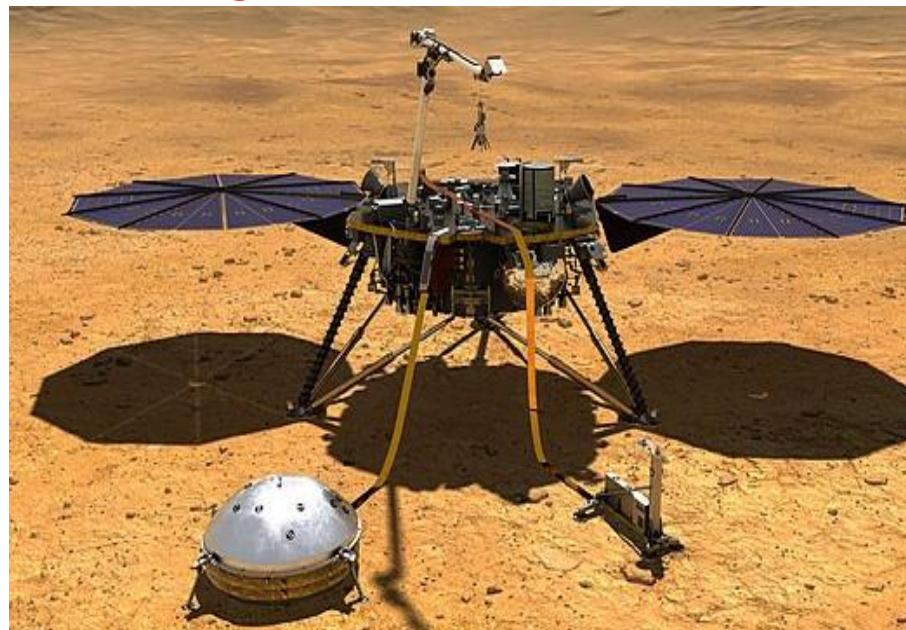
## Bilan

Batteries et gestion d'énergie électrique  
inefficaces

## Problématique

Comment assurer une autonomie  
énergétique suffisante et durable de la  
sonde InSight, visant à limiter la décharge  
des batteries pour tenir le temps de la  
mission à 4 ans.

## Sonde InSight



Source : NASA

# Plan

## I/ Mise en situation et problématique



## II/ Anatomie de la sonde

- ❖ Génération énergétique
- ❖ Stockage
- ❖ Instrumentation

## III/ Le système énergétique

- ❖ Fonctionnement énergétique
- ❖ Optimisation de la puissance

## IV/ Modélisation

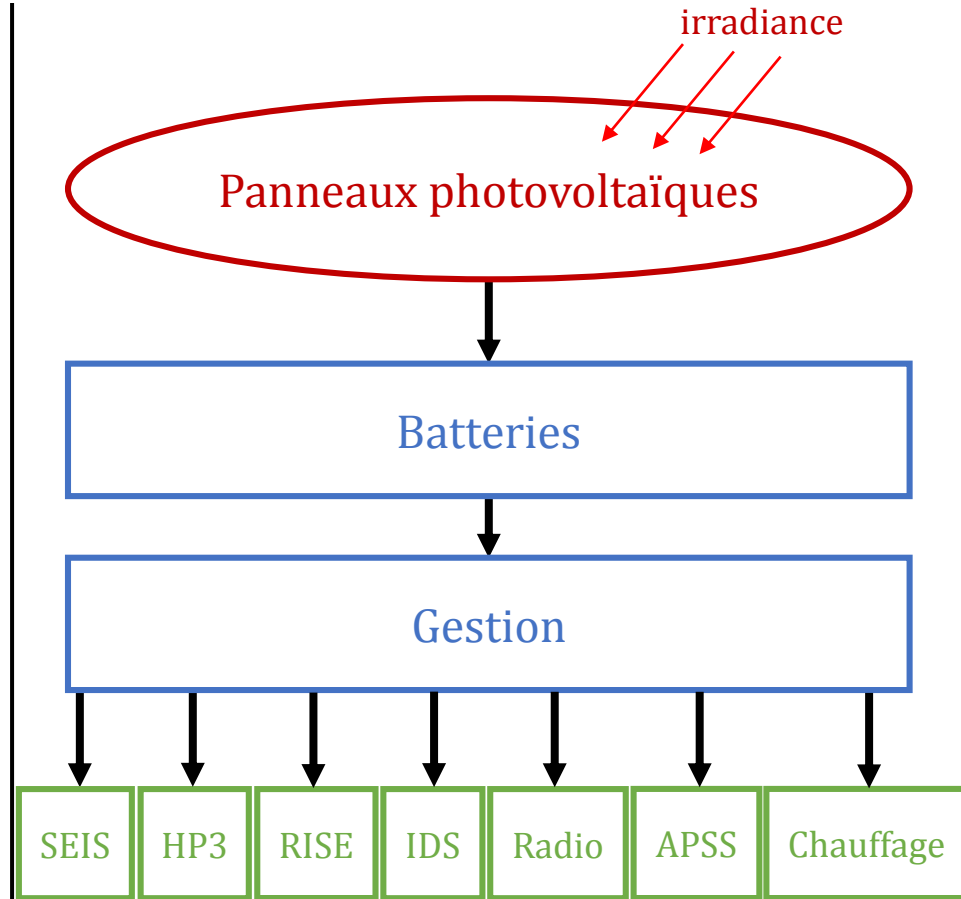
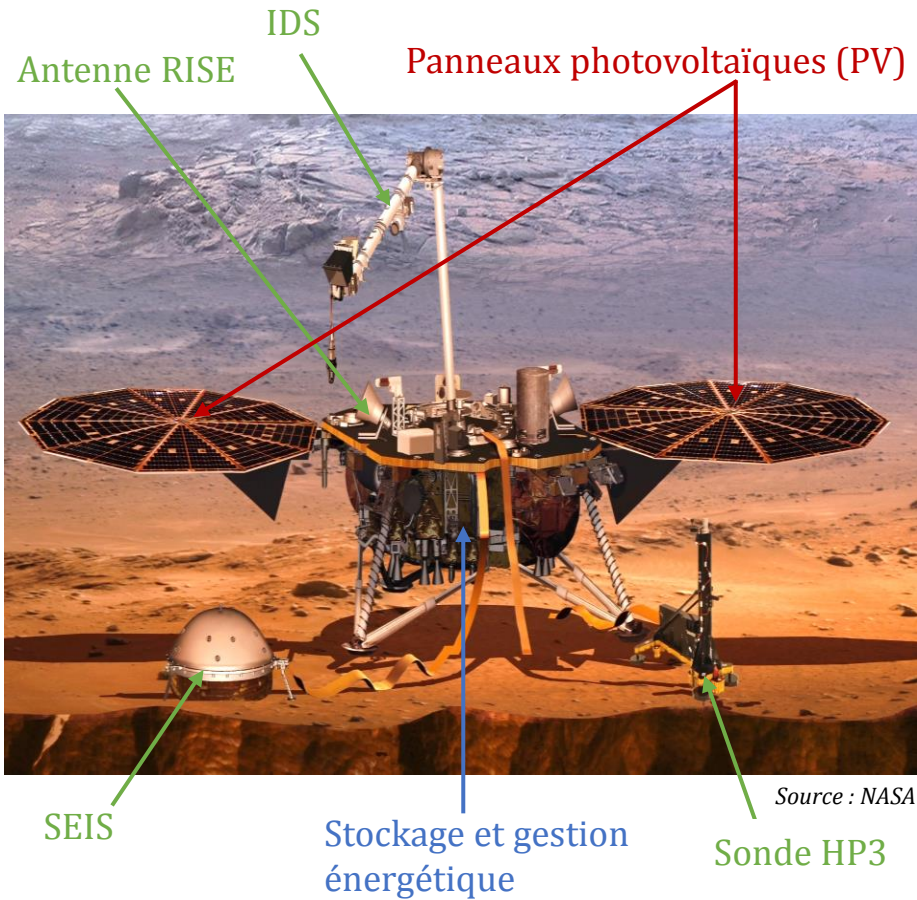
- ❖ Acquisition photovoltaïque (PV)
- ❖ Stockage
- ❖ Traitement
- ❖ Charges électriques

## V/ Conclusion

- ❖ Résultat du modèle équivalent
- ❖ Analyse et réponse à la problématique

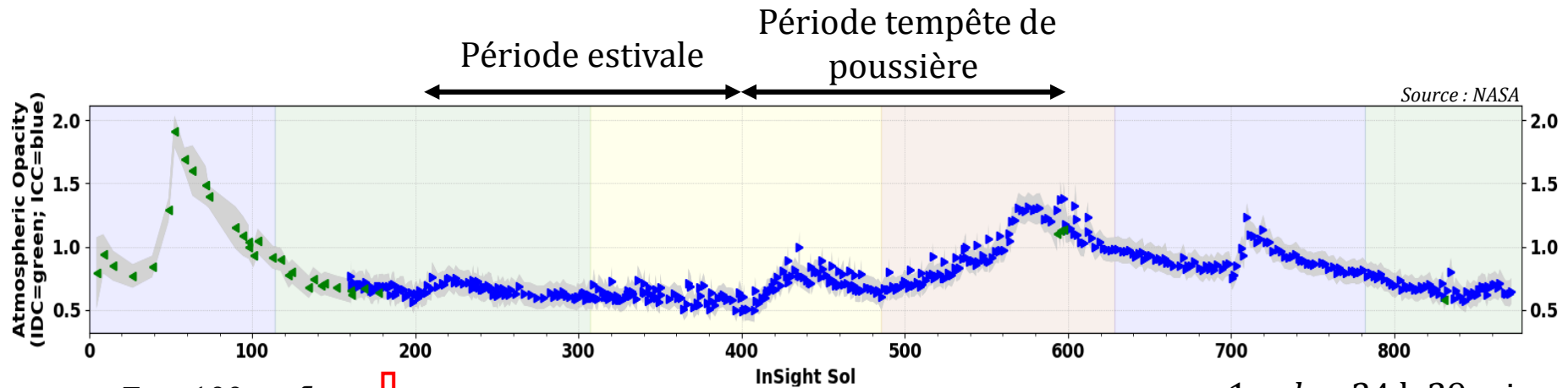


# Anatomie de la sonde



La connexion entre les différents organes de la sonde est assurée par des bus continus

# Fonctionnement énergétique



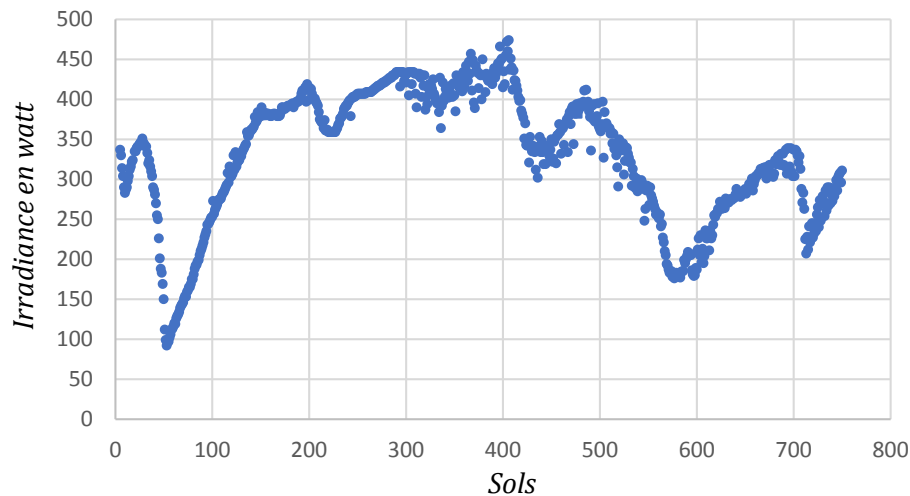
1 sol = 24 h 39 min

$$T_r = 100 \cdot e^{-\tau}$$

$$P_{S,Mars} = 586 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

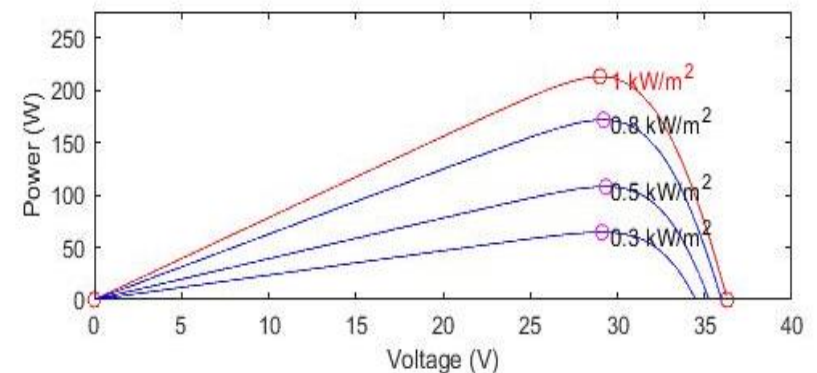
$$I_r = T_r \cdot P_{S,Mars}$$

Irradiance en fonction des sols



$$\langle P_{min} \rangle = 92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \langle P_{max} \rangle = 474 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

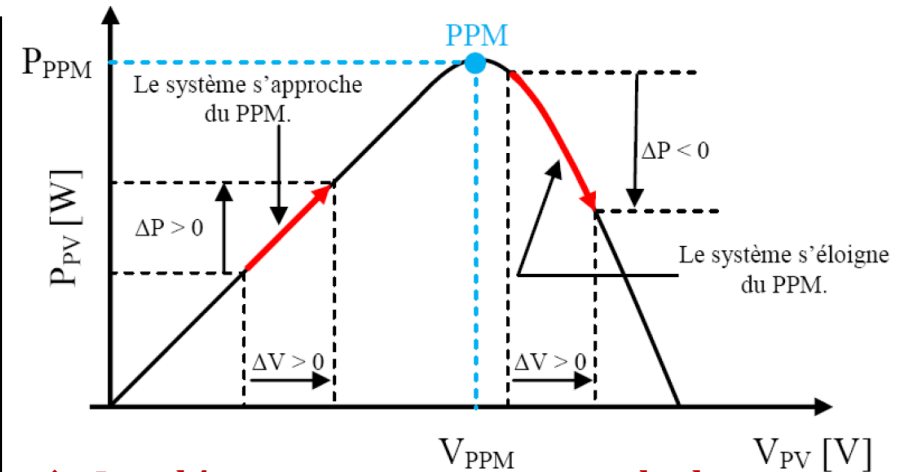
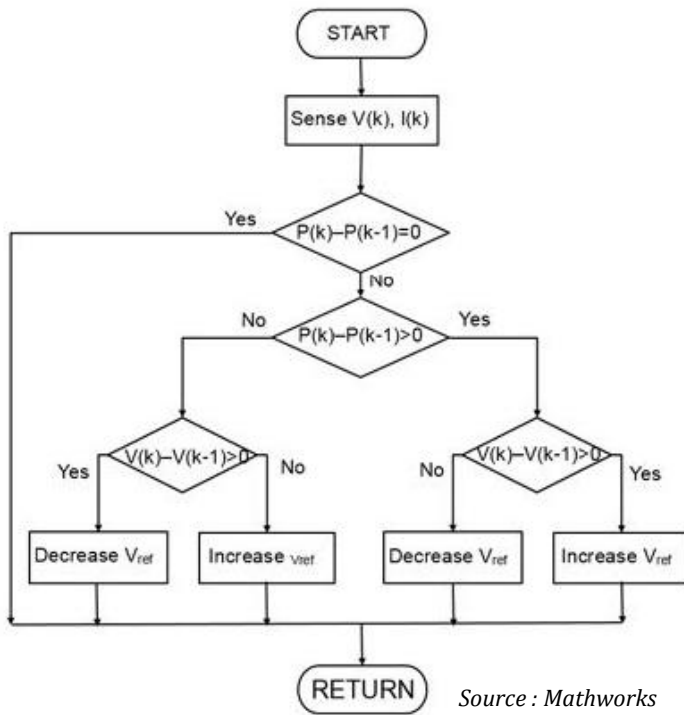
$$P_{moy} = 330 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



# Optimisation de la puissance

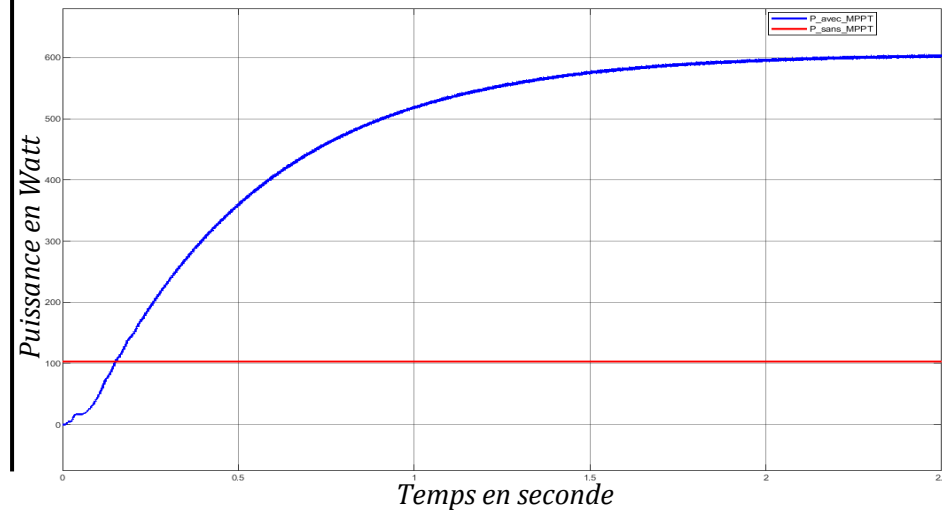
**MPPT** : Maximum power point tracker  
(recherche de la puissance maximale)

## ❖ Algorithmes (P&O)



## ❖ Implémentation sous simulink

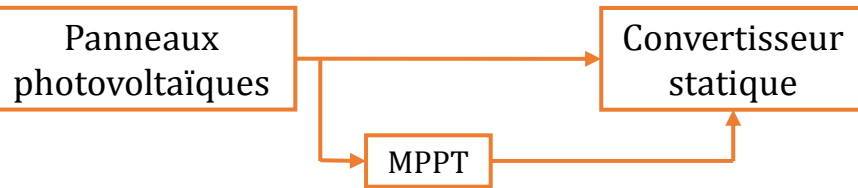
Puissance avec et sans MPPT en fonction du temps



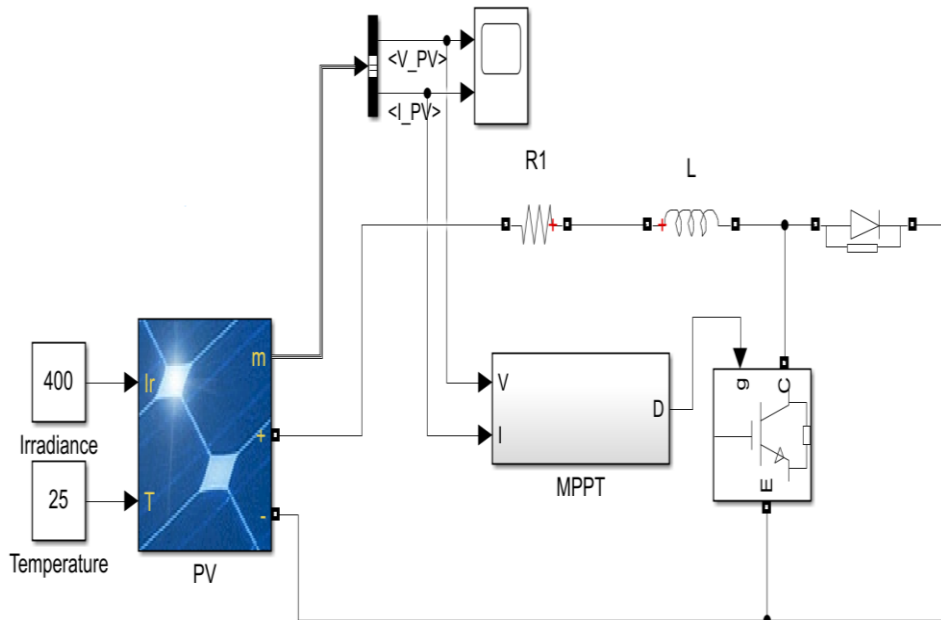
$$\bullet \langle P_{MPPT} \rangle = 475 \text{ W} \quad \bullet \langle P_{wMPPT} \rangle = 105 \text{ W}$$

# Étude d'un modèle équivalent : Conversion électrique

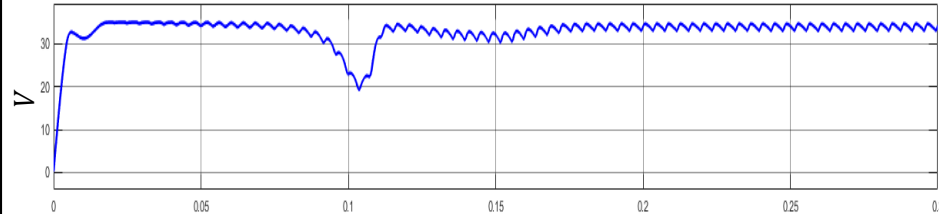
## ❖ Schéma bloc



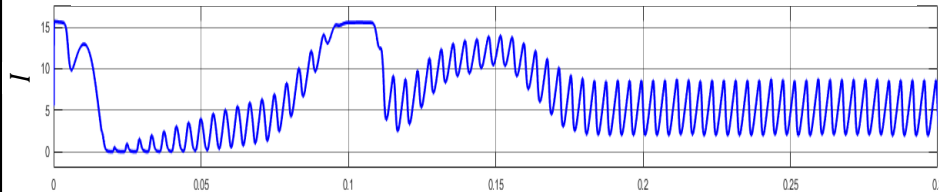
## ❖ Étude du convertisseur statique



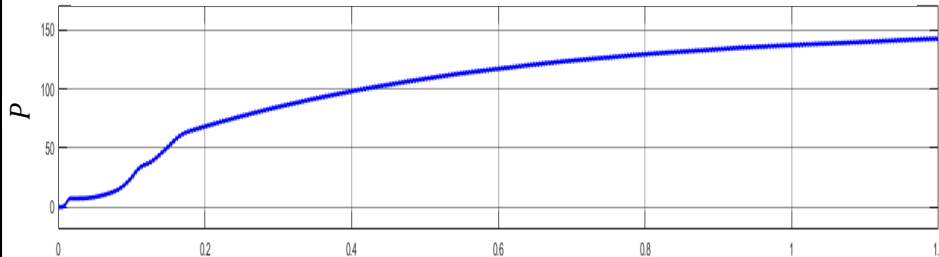
V\_PV en fonction du temps



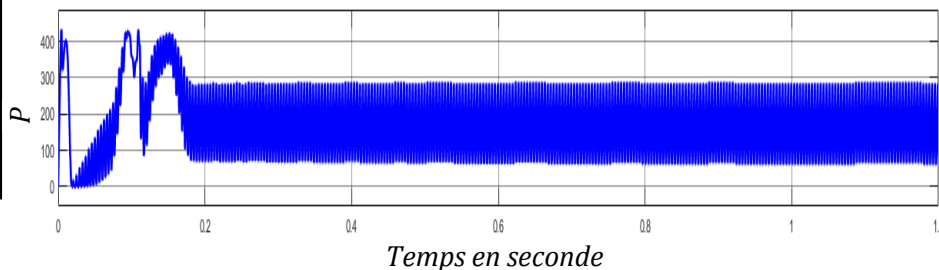
I\_PV en fonction du temps



Puissance de sortie en fonction du temps



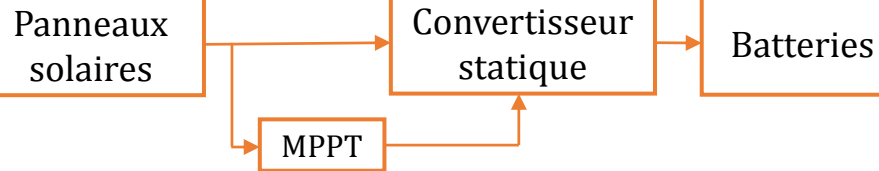
Puissance d'entrée en fonction du temps



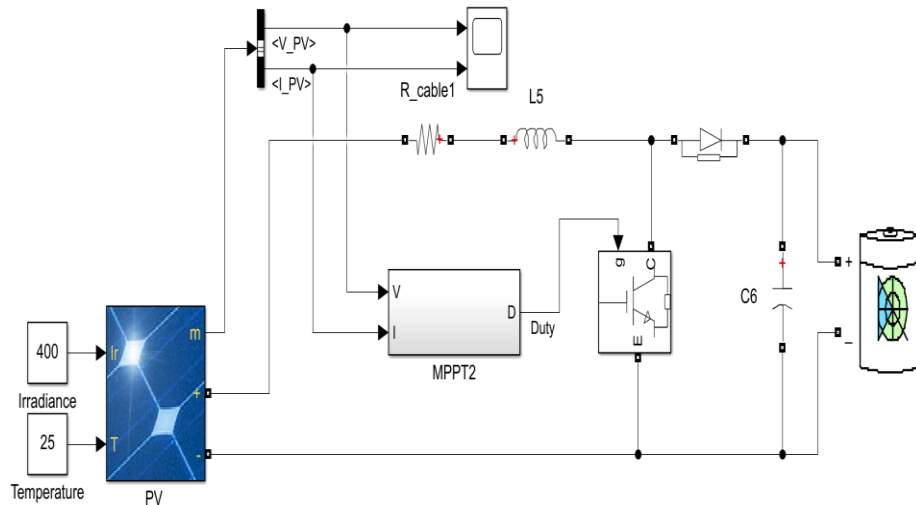


# Étude d'un modèle équivalent : Stockage

## ❖ Schéma bloc

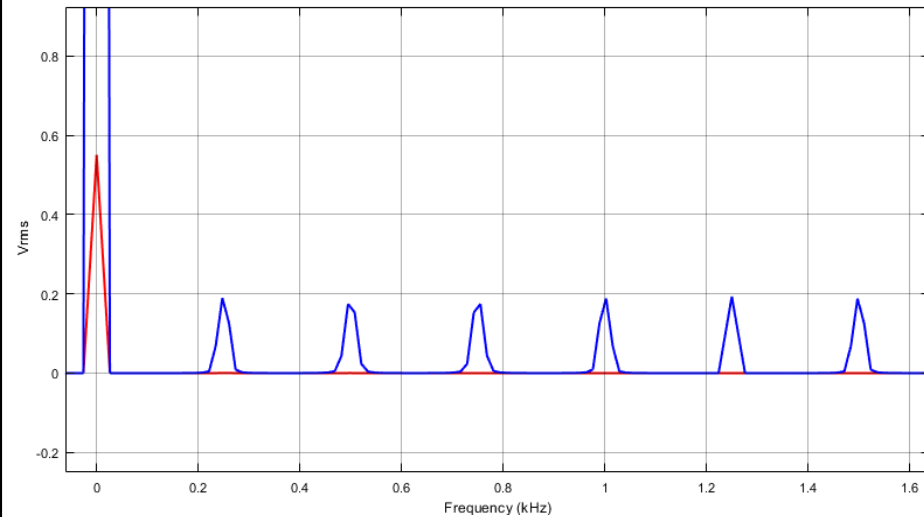


## ❖ Modèle Simulink

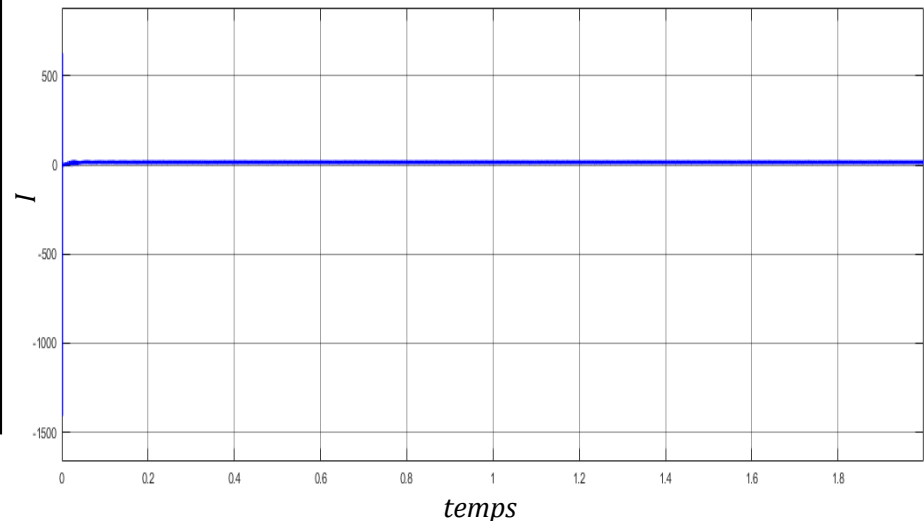


$SOC_i = 45\%$ ,  $V_{nominal} = 24\text{ V}$ ,  $Capacité = 50\text{ Ah}$

Analyse spectrale

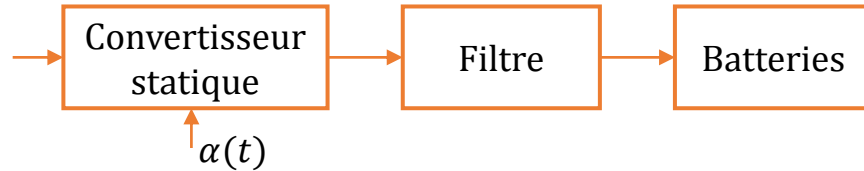


Courant en fonction du temps



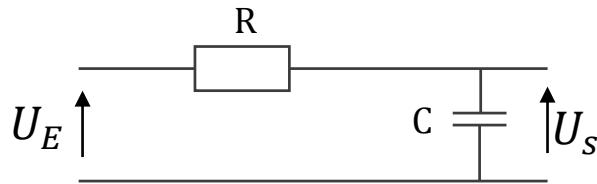
# Étude d'un modèle équivalent : Traitement

## ❖ Schéma bloc



## ❖ Choix du filtre

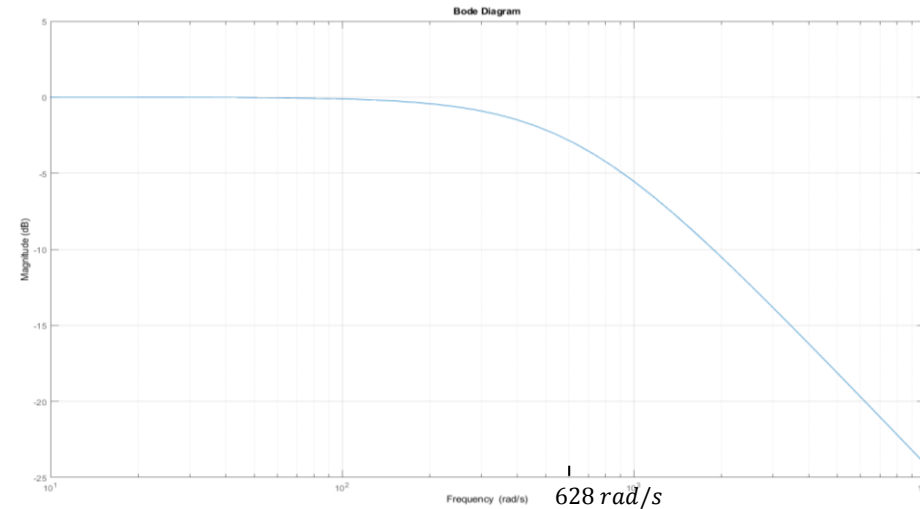
Passe-bas d'ordre 1 :



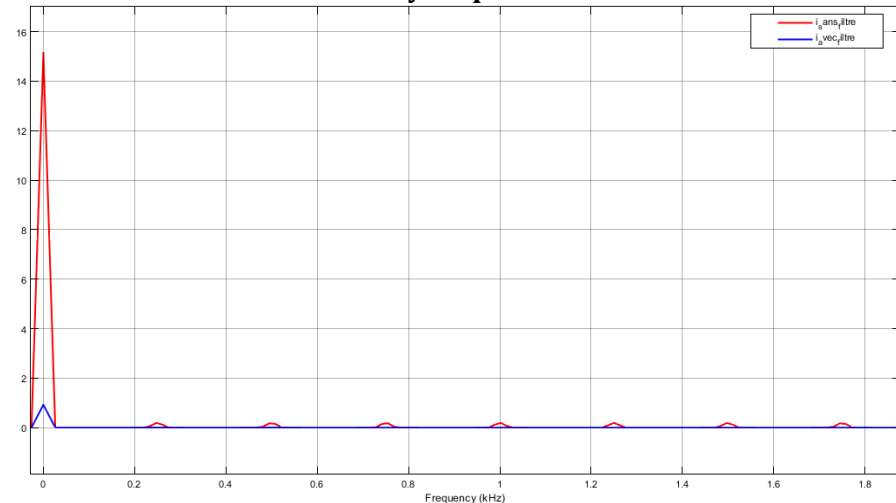
$$\underline{H(j\omega)} = \frac{H_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}} \quad R = 160 \, \Omega \text{ et } C = 10 \, \mu\text{F}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} = 628 \, \text{rad}\cdot\text{s}, H_0 = 1$$

## ❖ Diagramme de Bode



## Analyse spectrale



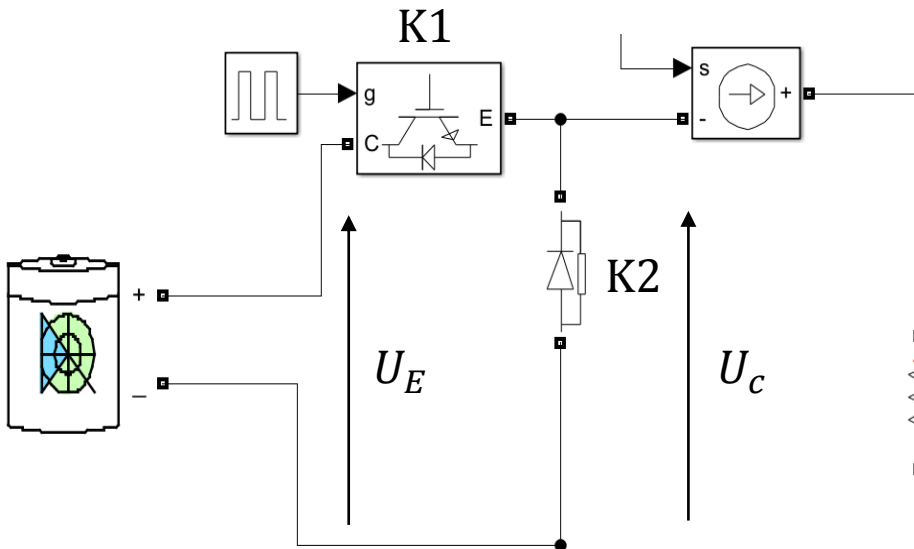


# Étude d'un modèle équivalent : Alimentation instruments

## ❖ Schéma bloc

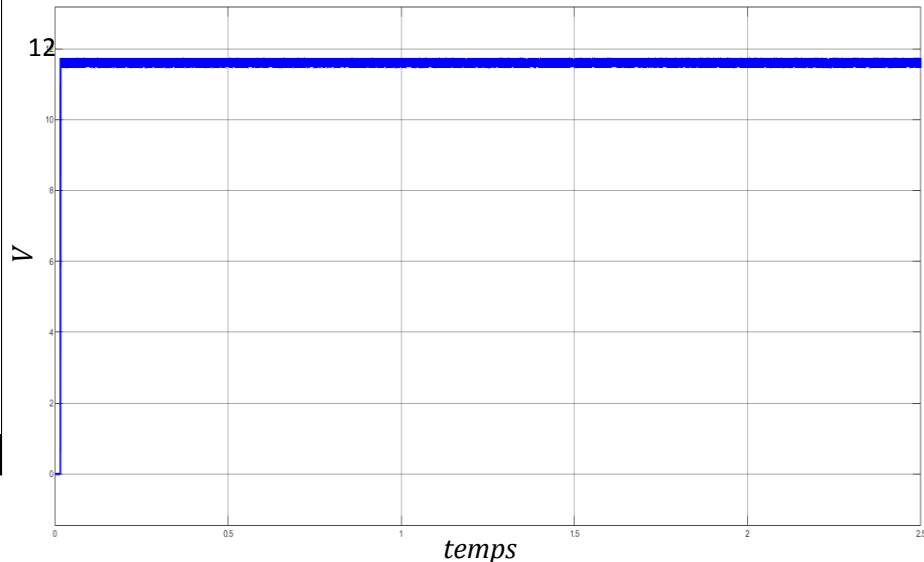
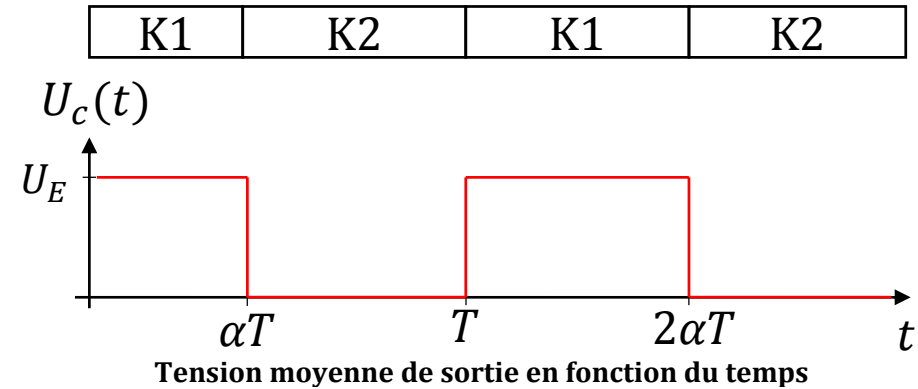


## ❖ Modèle Simulink

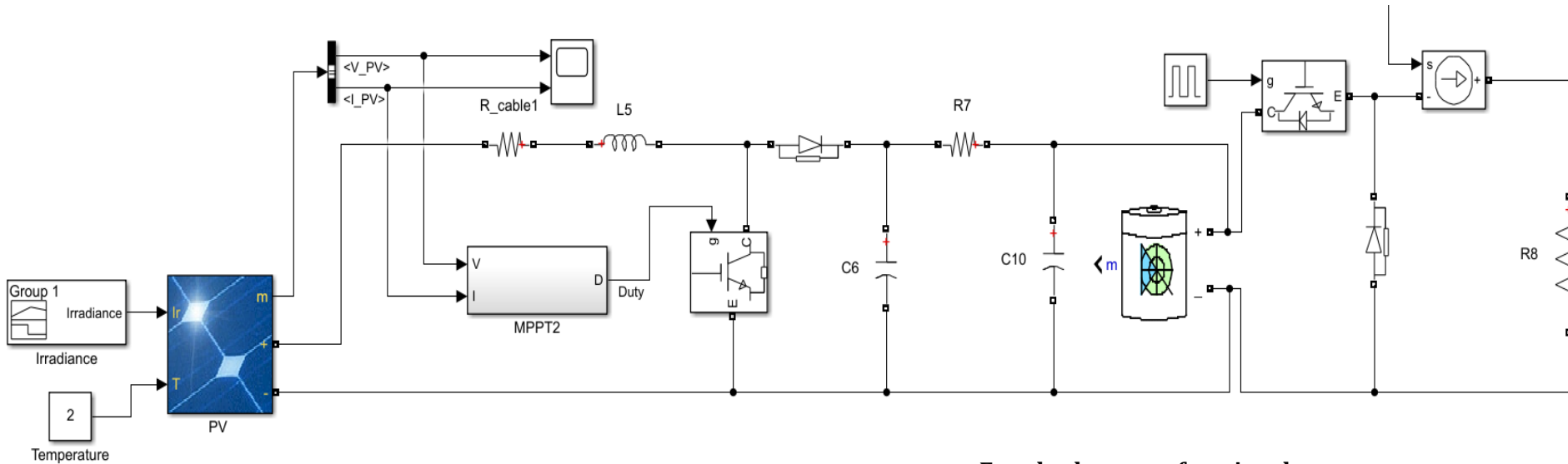


$$\langle u_c \rangle = \alpha U_E \text{ avec } \alpha \in ]0; 1[ \quad U_E = 24 \text{ V}$$

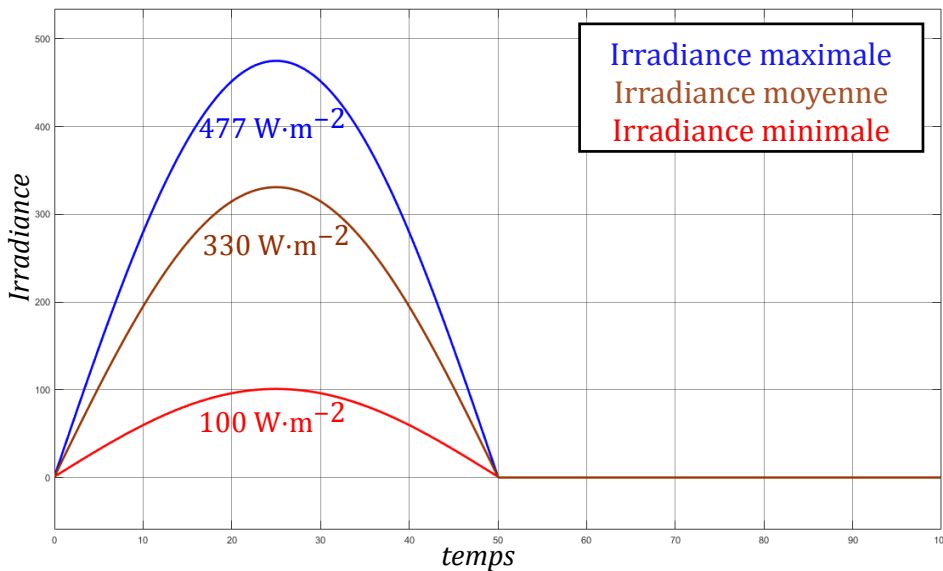
## ❖ Chronogrammes



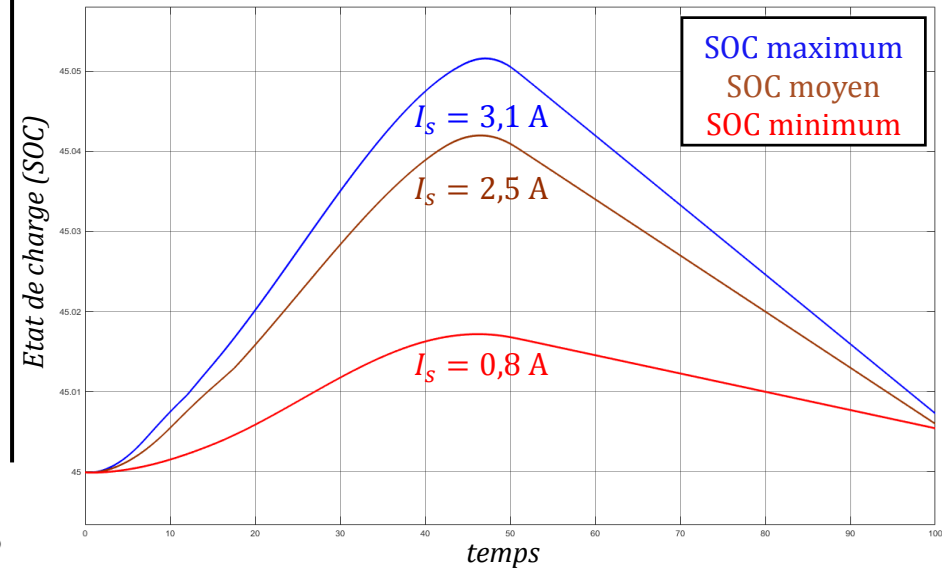
# Résultat du modèle équivalent



Irradiance en fonction du temps



Etat de charge en fonction du temps



# Conclusion

**Rappel de la problématique :** comment assurer une autonomie énergétique suffisante et durable de la sonde InSight, visant à limiter la décharge des batteries pour tenir le temps de la mission à 4 ans.

**Objectif :** consommation < production

Irradiance  $477 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 3,1 \text{ A}$

Irradiance  $330 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 2,5 \text{ A}$

Irradiance  $97 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 0,8 \text{ A}$

## Hypothèse

- ❖ Température constante
- ❖ Consommation constante
- ❖ Batterie idéale